第35卷 第4期
1992年11月

昆 虫 学 报
ACTA ENTOMOLOGICA SINICA

Vol. 35. No. 4
Nov., 1992

# 三带喙库蚊幼期实验种群动态的模拟研究

顾卫东
（第二军医大学寄生虫教研室，上海 200433）

陆宝麟
（微生物流行病研究所，北京 100850）*

**摘要** 根据温度和三带喙库蚊（*Culex tritaeniorhynchus* Giles）幼期发育的关系，以及不同恒温下幼期各龄发育速率变异系数基本恒定，用多群体发育速率累积法建立了幼期实验种群动态的模拟模型。模型对实验种群动态的模拟结果和实际观察值是一致的，并可用来估测在野外研究中难以得到的种群参数。

**关键词** 三带喙库蚊幼虫 种群动态 模拟

三带喙库蚊（*Culex tritaeniorhynchus* Giles）是我国及亚洲一些国家和地区乙型脑炎的重要传播媒介。其幼虫孳生地种类多，面积广泛。以往，幼虫生态研究实验室大都侧重于定性研究，而定量的幼虫种群动态模型研究迄今还未见报告。鉴于幼虫种群动态研究是三带喙库蚊种群生态学的一个重要组成部分、建立幼期实验种群动态模型是自然种群模型的基础，并且对于一些在野外研究中很难估测的幼期种群参数，也可以通过种群动态模拟方法进行估测。为此，我们在实验室观察了温度相关的三带喙库蚊幼期种群发育进程，建立了模拟各龄期发育动态的模拟模型（TriSim）。

## 材料和方法

所用蚊虫为三带喙库蚊北京株，系军事医学科学院媒介生物学研究室养殖。

### 1. 温度对幼虫发育的影响

观察了幼虫在13.5℃，16.5℃，19.5℃，20.5℃，24.0℃，26.2℃，28.2℃，30.2℃，32.4℃和34.1℃下发育进程，根据Schoolfield等（1981）温度相关的发育速率模型，建立了三带喙库蚊幼期各龄发育速率模型（顾卫东等，1990）。

### 2. 幼期种群发育随机性模拟

温度相关的幼期发育速率模型只反映了种群的平均发育速率。由于幼虫发育存在个体差异，即种群完成特定龄期发育的个体数具有一个频数分布。因此，种群动态模型中要考虑到种群中的个体差异。

假定发育速率是由一种酶促反应决定的，由于种群的个体间酶分子浓度的差异使得个体发育速率也有不同，Sharpe等（1977）假定酶浓度在种群中呈正态分布，故种群发育速率标准差（SD）等于常数乘以平均发育速率，即发育速率的变异系数（$p$）是恒定的，和温度无关，因为温度只影响酶成分中活性状态与抑制状态的比例，而对酶浓度变化没有影响（Curry等，1978）。因此可用一个非温度相关的、正态化的二次函数分布来描述种

本文于1989年11月收到。
* 北京丰台区七里庄路23号。

群中发育速率的个体差异,模型为:

$$F(y) = -\frac{\alpha}{3y^3} - \frac{\beta}{2y^2} - \frac{\gamma}{y} + \frac{\alpha b^3}{3} + \frac{\beta b^2}{2} + \gamma b$$

$$\frac{1}{b} \leqslant y \leqslant \frac{1}{a}$$

该分布的上、下限分别为 $\frac{1}{b}$ 和 $\frac{1}{a}$,表示当累积发育速率 $y \geqslant \frac{1}{b}$ 时,有个体完成发育,而当 $y \geqslant \frac{1}{a}$ 时,则个体全部完成发育进入下一龄期,$F(y)$ 为累积发育速率 $y$ 时,完成发育的个体比例。

$$a = 1 - \sqrt{5}\,p$$

$$b = 1 + \sqrt{5}\,p$$

$$\alpha = 6/(a - b)^3$$

$$\beta = -\alpha(a + b)$$

$$\gamma = \alpha ab$$

$$\text{发育速率变异系数}\ (p) = \frac{\text{发育速率标准差}}{\text{平均发育速率}}$$

**3. 幼期种群动态模型(TriSim)的建立**

按累积发育速率的方法,这种方法将发育视为渐近过程,累积速率进度取决于温度和模拟步长。模拟是以 8 小时内孵化的 1000 只 1 龄幼虫作为模型的初始种群,由于存在个体差异,从第二龄后,各龄均有多个群体(cohort),这里群体是指同一观察间隔进入特定龄期的个体总数。每模拟步长(等于观察间隔)群体完成发育的比例由累积速率和上述发育速率随机分布模型确定;从第二龄后,每一群体的个体均来自前一龄多个群体,因此,TriSim 模型对每一模拟步长完成发育的个体进行分类,累加,最后打印出不同时间进入各龄的幼虫个体数(程序清单可向第一作者索引)。

## 结 果 和 讨 论

**1. 不同温度下三带喙库蚊各龄幼虫和蛹发育速率的变异系数**

为了验证 Sharpe 等(1977)模型的假设条件,即发育速率变异系数和温度是相互独立的,我们观察了不同温度下幼期各龄发育速率变异系数($p$)和温度的关系。结果表明,不同温度下三带喙库蚊各龄幼虫和蛹发育速率变异系数是基本恒定的(表 1),低温下各龄(除 4 龄外)和蛹发育速率变异系数较低是由于发育时间长的个体死亡率较高所致。不同温度下,各龄幼虫和蛹发育速率变异系数虽然有所波动,但这种波动和温度无关,而是由于实验种群中的个体差异造成的。我们的观察结果与 Sharpe 等人(1977)的结果是一致的,因此,可以用平均变异系数来表示各龄幼虫和蛹发育速率的个体差异。

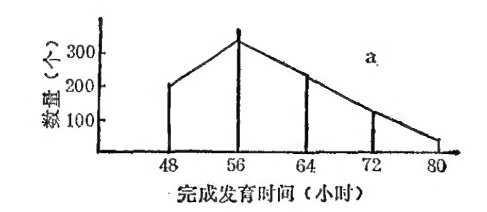
Shaffer (1983) 通过分析实际的和假设资料,对 194 种不同昆虫发育资料的发育速率标准差和平均发育速率的线性关系进行检验。结果表明,20% 的资料中发育速率标准差和平均发育速率的线性关系不成立,即发育速率变异系数是温度相关的。但从我们实

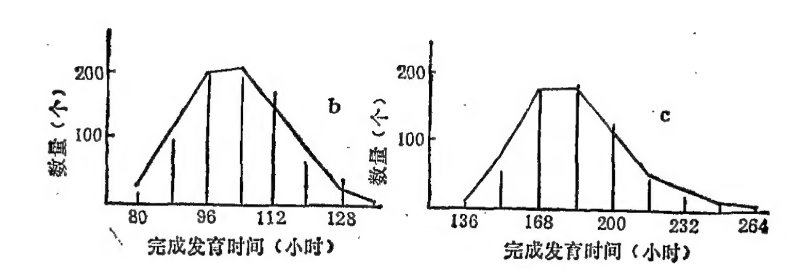
表 1 三带喙库蚊各龄幼虫和蛹发育速率的变异系数(%)

| 温度(℃) \ 虫态 | 1 龄 | 2 龄 | 3 龄 | 4 龄 | 蛹 |
|---|---|---|---|---|---|
| 13.5 | 8.3 | 9.9 | 12.5 | — | — |
| 16.5 | 14.8 | 18.5 | 19.9 | 26.7 | 8.1 |
| 19.5 | 16.8 | 26.4 | 18.6 | 28.3 | 16.5 |
| 20.5 | 19.4 | 24.5 | 29.5 | 18.4 | 14.1 |
| 24.0 | 13.1 | 18.3 | 32.0 | 12.8 | 15.8 |
| 26.2 | 12.4 | 19.1 | 27.4 | 32.1 | 9.5 |
| 28.2 | 18.2 | 27.4 | 29.2 | 18.6 | 9.4 |
| 30.2 | 16.1 | 14.1 | 16.6 | 19.8 | 8.3 |
| 32.4 | 11.2 | 12.5 | 18.8 | 25.3 | 12.5 |
| 34.1 | 10.8 | 16.2 | 20.8 | 26.0 | — |
| 平均变异系数(%) | 14.2 | 18.7 | 22.9 | 23.1 | 11.8 |

验结果分析，三带喙库蚊各龄幼虫和蛹的发育速率变异系数和温度相互独立。

**2. 恒温下三带喙库蚊幼期种群动态的模拟结果**



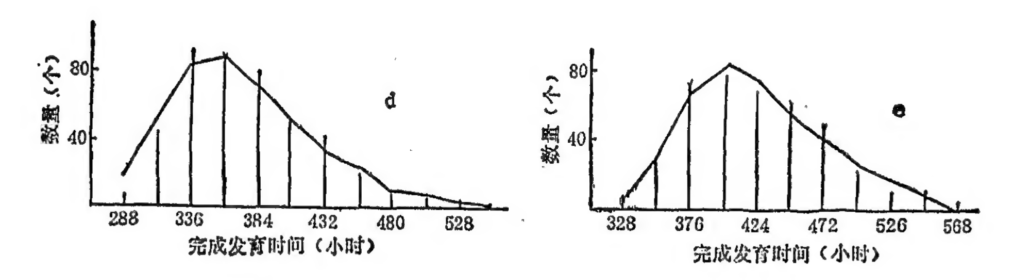




图 1 24.0℃ 下三带喙库蚊种群动态模拟结果（a—e 分别为 1—4 龄幼虫和蛹；垂直线为观察结果，连点为模拟结果）

由于幼虫在低温和高温下死亡率较高，从1龄幼虫发育到成蚊的个体数较少，有些虫龄的发育数据是单独观察的，模型（TriSim）模拟结果得不到观察数据的验证。因此，我们只模拟了适宜温度下幼虫种群动态，并与实际观察结果进行了比较。结果表明，TriSim 模拟模型对三带喙库蚊幼期实验种群动态的模拟结果和实际观察结果是基本符合的。图1（a–e）给出了24.0℃下的模拟结果。

我们建立的三带喙库蚊幼期实验种群模型（TriSim）虽然只对恒温下单世代幼期种群动态进行研究，但稍加改进即可模拟变温下多世代幼期种群动态。变温环境下，可用正弦或余弦函数模拟昼夜温度变化，求得每模拟间隔的平均水温，再按前法累积发育速率，只是这里每模拟间隔的温度是可变的。对于多世代幼虫种群，则是将1龄幼虫种群按多群体进行模拟。另外，考虑到幼虫实验种群和自然种群的主要差异表现在幼虫存活率和发育速率，应用实验种群模型拟合自然种群取样数据，可以对自然种群幼虫存活率和发育速率进行估测（另文发表）。

## 参 考 文 献

顾卫东、陆宝麟 1990 温度对三带喙库蚊幼虫生长发育的影响。中国媒介生物学与防制 1(1): 3—5。

Curry, G. L., R. M. Feldman, P. J. H. Sharpe 1978 Foundations of stochastic development. *J. Theor. Biol.* **74**: 397—410.

Focks, D. A., R. E. McLaughlin, R. M. Smith 1988 A dynamic life table model of *Psorophora columbiae* in the Southern Louisiana rice agroecosystem with supporting hydrologic submodel. Part 1. Analysis of literature and model development. *J. Am. Mosq. Control Assoc.* **4**: 266—81.

Schoolfield, R. M., P. J. H. Sharpe, C. E. Magnuson *et al.* 1981 Nonlinear regression of biological temperature dependent rate models based on absolute reaction rate theory. *J. Theor. Biol.* 88: 719—31.

Shaffer, P. L. 1983 Prediction of variation in development period of insects and mites reared at constant temperatures. *Environ. Ent.* **12**: 1012—9.

Sharpe, P. J. H., G. L. Curry, D. W. DeMichele *et al.* 1977 Distribution model of organism development times. *J. Theor. Biol.* 66: 21—38.

# SIMULATION OF LARVAL POPULATION DYNAMICS OF *CULEX TRITAENIORHYNCHUS*

GU WEI-DONG

(*Department of Parasitology, Second Military Medical College, Shanghai* 200433)

LU BAO-LING

(*Institute of Microbiology and Epidemiology, 23 Qilizhuang Road, Fengtai, Beijing* 100850)

Based on the relationship between temperature and development rate of *Culex tritaeniorhynchus* larvae, together with the coefficient of variation of larval development rates remaining constant under various temperatures, simulation model of larval population dynamics was developed by summation of larval development rates of multiple cohorts. Predicted results of model were similar to those observed. Meanwhile, the model can also be used to estimate parameters which are difficult to measure in field survey.

**Key words** *Culex tritaeniorhynchus* larva——population dynamics——simulation